کنترل سیل با استفاده ازروش ترکیبی بند تاخیری و دیوار ساحلی
(مطالعه موردی : حوضه رودخانه کن)

اعظم صفایی[1]، سعیدرضا خداشناس*[2]، کامران داوری[3]

۱-کارشناس ارشد سازه های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

۲و ۳-استاد ، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد،

چکیده

در تحقیق حاضر به منظور کاهش خطرات سیل گرفتگی مناطق پایین دست حوضه آبریز کن، یک روش ترکیبی از بندهای تأخیری به اضافه دیوار سیل بند در محدوده مناطق مسکونی مورد بررسی قرار گرفت، با توجه به آنکه محل و تعداد سدهای تاخیری بر هیدروگراف سیلاب و در نتیجه ارتفاع و طول دیوار سیل بند تاثیر مستقیم داشتند، لازم بود که ترکیب های مختلف از بند و دیوار سیل بند مورد ارزیابی قرار گیرد تا بهترین ترکیب که هزینه احداث سازه‌ها حداقل و کاهش دبی اوج سیلاب خروجی، حداکثر شود بدست آید. بدین منظور ۸ مکان مختلف در سطح حوضه آبریز رودخانه کن برای احداث بندهای تأخیری شناسایی شدند. با جاگذاری ۸ بند، ۱۹ بازه به‌وجود آمد و در مجموع ۲۵۶ گزینه مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. برای مدل سازی هیدرولیکی- هیدرولوژیکی سیلاب از مدل HEC-HMS و برای طراحی بندهای تاخیری از نرم افزار CADAM استفاده شد. برای تعیین بهترین ترکیب از روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS استفاده شد. این تحقیق نشان داد که احداث سه سد تاخیری در مکان های مناسب به همراه دیوار سیل بند، نسبت به سایر گزینه ها برتری دارد و می تواند دبی پیک سیلاب خروجی از حوضه را (نسبت به عدم وجود سدهای تاخیری) ۳۱,۵٪ کاهش دهد. علاوه بر این، زمان تمرکز سیلاب نیز بیشتر از سایر گزینه ها بود.

کلیدواژه‌ها: بند تأخیری ، تصمیم‌گیری چند معیاره ، TOPSIS، حوضه آبریز کن ،کنترل سیل

مقدمه:

استفاده از روش‌های تلفیقی در کنترل سیلاب در سال‌های اخیر گسترش فراوانی یافته و تحقیقات زیادی در این زمینه انجام گرفته است. الوشاه و الخوری [۱] با تحلیل سیلاب و مقایسه چهار سناریوی جنگل‌کاری، تراس بندی، احداث چکدم و سناریوی ترکیبی از سه فعالیت مذکور، با تعیین و محاسبه دو معیار دبی اوج و حجم سیلاب در منطقه پترا در کشور اردن، به این نتیجه رسیدند که سناریوی ترکیبی (شامل کلیه فعالیت های مذکور) باعث کاهش پیک به میزان ۱۵ تا ۴۵ درصد شده ولی تأثیر آن بر حجم سیلاب قابل ملاحظه نبوده است. سیمونویچ و همکاران [۲] ، در رابطه با کنترل سیلاب در رودخانه قرمز کانادا به این نتیجه رسیدند که برای حفاظت از شهر وینی پگ می‌بایست از دو روش بازگشایی و بهسازی مجرای رودخانه قرمز و استفاده از حوضچه‌های تأخیری استفاده شود. نامقی و رجایی[۳] ، تاثیر سدهای تاخیری کنترل‌شونده را بر روی کنترل سیلاب رودخانه گرگانرود بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که با احداث سه سد تاخیری در سه زیر حوضه گرگانرود، حداکثر دبی ناشی از سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله پس از تسکین به دبی معادل با وقوع سیلابی با دوره بازگشت ۲۵ سال کاهش می‌یابد. شکوهی و دانشور [۴] ، تاثیر احداث سدهای تاخیری در حوضه آبریز آبخوار را در مقایسه با عملیات موضعی مهندسی رودخانه برای کنترل سیل در محدوده شهر بهبهان مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها بیان‌گر آن بود که کنترل سیلاب توسط مخازن تاخیری در حوضه آبریز منتهی به شهر، در مقابل گزینه‌های کنترل سیل در محدوده شهری و عملیات مهندسی رودخانه، چه به لحاظ اقتصادی و چه به لحاظ امنیت روانی از اولویت ویژه‌ای

* نویسنده مسئول khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir

برخوردار است. هلیلی و همکاران [۵] به منظورمدیریت منابع آب سطحی درسدمخزنی بوستان دراستان گلستان از تصمیم گیری چندمعیاره فازی استفاده نمودند. هدف اصلی آنها کنترل وتنظیم سطح آب درمخزن سد بود، به طوری که آب کافی برای تامین نیازآبی به خصوص درماه‌های کم آبی ذخیره شده و درعین حال حجم خالی لازم به منظورکنترل سیلابها را فراهم آورد و همچنین نیازهای اکولوژیکی پایین دست را تامین نماید. لی و چانگ [۶] , و چانگ و همکاران[۷] از روش ترکیبی تصمیم گیری چند معیاره به منظور بررسی آسیب پذیری در مقابل سیلاب استفاده کردند. رادمهر وعراقی نژاد [۸و۹] از روش تصمیم گیری چند معیاره مکانی فازی به منظور تعیین مناطق آسیب پذیردر مقابل سیلاب در حوضه آبخیز شهری تهران استفاده کردند. قهرودی و همکاران آسیب پذیری ناشی از سیلاب شهری را در منطقه درکه و کن با استفاده از شبکه عصبی MLP مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که سهم رواناب حوضه کن بسیار زیاد است. [۱۰] هوشیاری پور و همکاران مدیریت سیلاب حوضه رودخانه کن را با رویکرد شبیه سازی و بهینه سازی را تحقیق کردندو از نرم افزار MIKE11 برای شبیه سازی سیلاب و از الگوریتم ژنتیک برای کمینه کردن خسارات استفاده کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که ترکیب روشهای سازه ای و غیر سازه ای (مانند آبخیزداری) می تواند تا ۵۰درصد پیک سیلاب را کاهش دهد. [۱۱]و در مورد اثربخشی روش‌های گوناگون کنترل سیلاب همیشه و در طول تاریخ بحث و مناقشه بوده است. در بین روش‌های مختلف سازه‌ای، استفاده از بندهای تأخیری به‌عنوان یک روش تسکین سیلاب در حوضه آبریز بالادست و دیوار سیل‌بند به‌عنوان محدودکننده سیلاب در محدوده مسکونی پایین‌دست حوضه، روش‌هایی هستند که با عملکردهای متفاوت، مکمل یکدیگر می باشند. تا کنون تأثیر متقابل بندهای تأخیری همراه با دیگر روش‌های سازه‌ای کنترل سیل همچون دیوار سیل‌بند کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در تحقیق حاضر از ترکیب این دو روش برای طرح کنترل سیلاب حوضه کن استفاده شد. هدف تعیین گزینه برتر کنترل سیلاب از نظر اقتصادی و از نظر کاهش دبی پیک سیلاب بود که بدین منظور از روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS استفاده شد.

مواد و روش‌ها:

- محدوده مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه، حوضه آبریز رودخانه کن واقع در شمال استان تهران، در عرض جغرافیایی "۴۹ '۴۵ °۳۵ تا "۱۱ '۵۷ °۳۵ شمالی و طول جغرافیایی "۵۳ '۹ °۵۱ تا "۲۹ '۲۲ °۵۱ شرقی واقع شده است. در شکل (۱) موقعیت حوضه آبریز کن در استان تهران نشان داده شده است.

شکل ۱. موقعیت حوضه آبریز رودخانه کن در شمال تهران

حوضه آبریز کن از ۱۰ زیرحوضه به نام‌های پایین‌دست سولقان، هریاس، سولقان، کن میانی، کشار، دوآب، امامزاده داود، سنگان، رندان و طالون تشکیل شده است. در طول این مسیر در دو طرف رودخانه مناطق مسکونی و تاسیسات شهری وجود دارد. خروج سیلاب از رودخانه منجر به بروز خسارت‌های مالی و جانی گردد.

-مدل‌سازی و شبیه‌سازی جریان در محدوده مطالعاتی

جایابی بندهای تأخیری و دیوار سیل‌بند

از نظر کلی، بهترین محل برای احداث از لحاظ توپوگرافی، محلی است که در آن دره‌ای عریض با دیواره‌های بلند به یک گلوگاه یا دره‌ای باریک با عرض کم منتهی شود به‌طوری که با حداقل طول تاج در ارتفاع معینی، حداکثر حجم ذخیره ایجاد گردد.

از آنجا که با احداث بندهای تأخیری سطح آب در پشت آنها بالا آمده و زمین‌های بالادست بند به زیر آب خواهند رفت، بنابراین حتی‌الامکان مکان احداث بند تأخیری بایستی طوری انتخاب گردد که در بالادست بند، کاربری خاصی اعم از مناطق مسکونی و زمین‌های کشاورزی وجود نداشته باشد تا از نظر تملیک اراضی مشکل زیادی ایجاد نگردد. البته هزینه کاربری اراضی و هزینه های

زیست محیطی این سدها در مقایسه با سدهای ذخیره ای قابل ملاحظه نمی باشد ولی می توان عنوان کرد که این هزینه ها مستقیما" با ارتفاع و تعداد سدهای ذخیره ای مرتبط می باشند و به عبارتی در معیارهای انتخاب گزینه برتر که بر اساس کمترین هزینه مستتر می باشند. در تحقیق حاضر فرض می‌شود که از نظر تأمین مصالح ساخت محدودیتی وجود ندارد و شرط تهیه منابع قرضه در تعیین مکان احداث بندهای تأخیری بدون تأثیر است. با توجه به معیارهای فوق‌الذکر، برای تعیین جانمایی بندهای تأخیری، با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی (DEM) محدوده مطالعاتی، در امتداد آبراهه‌های اصلی، نقاط گلوگاهی که در آنها، عرض دره رودخانه نسبت به بالادست و پایین‌دست کم بوده و شیب سواحل رودخانه زیاد می‌باشند انتخاب گردید.

بر اساس معیارهای تعیین جانمایی بندهای تأخیری، ۸ مکان مختلف در سطح حوضه آبریز رودخانه کن برای احداث بندهای تأخیری شناسایی شدند. پس از جاگذاری بندهای تأخیری، بازه‌های مطالعاتی به‌ترتیبی که در شکل (۲) نشان داده شده است، شماره‌گذاری شدند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با جاگذاری ۸ بند، ۱۹ بازه به‌وجود آمده است. در این شکل دیوار سیل‌بند محدوده مسکونی پایین‌دست نیز نشان داده شده است.

شکل ۲. موقعیت بازه‌های مطالعاتی، بندهای تأخیری و دیوار سیل‌بند در حوضه آبریز کن

برای مدل سازی هیدرولیکی- هیدرولوژیکی از مدل HEC-HMS استفاده شد. در مدل HEC-HMS، برای معرفی روزنه بایستی رقوم قرارگیری، مساحت و ضریب روزنه و برای معرفی سرریز نیز شکل سرریز، رقوم بالای سرریز، طول و ضریب سرریز باید مشخص باشد. بدین منظور ابتدا در محل منظور شده برای احداث بند تأخیری، رقوم تاج سرریز و رقوم مرکز روزنه به‌طور تقریبی تعیین گردید. مقادیر طول تاج سرریز به‌صورت درصدی از عرض دره و سطح مقطع روزنه نیز بر اساس این اصل که ظرفیت خروجی بند تأخیری با مخزن پر بایستی برابر حداکثر ظرفیتی باشد که می‌تواند از رودخانه در پایین‌دست عبور کند تعیین گردیدند. همچنین ضرایب سرریز و روزنه نیز بر اساس تجربیات و پیشنهادهای ارائه شده در مراجع علمی وارد شد. هر بند تأخیری بصورت مستقل در مدل HEC-HMS جاگذاری شده و مدل برای سیلاب طراحی اجرا شد. سپس با توجه به معیارهایی مانند عمق جریان بر روی سرریز و مقدار کاهش دبی اوج هیدروگراف خروجی نسبت به هیدروگراف ورودی، پارامترهای طراحی فوق از جمله رقوم تاج سرریز تا رسیدن به نتیجه نهایی تغییر داده شدند. ارتفاع آزاد با توجه به مراجع معتبر، ۵ درصد ارتفاع بند در نظر گرفته شد. فرآیند تعیین ارتفاع بندهای تأخیری که در بالا آمد برای تمامی بندهای تأخیری بصورت مستقل انجام شد و ارتفاع نهایی هر بند تعیین گردید. عرض تاج سد بر اساس معیار سازمان عمران آمریکا (USBR) برای ارتفاعهای کمتر از ۲۰ متر مطابق رابطه ۱ در نظر گرفته شد.

$$B = \frac{H_{dam}}{5} + 3 \qquad (۱)$$

پس از تعیین محل بندها، این سازه‌ها با توجه به سیلاب طرح و با در نظر گرفتن نیروهای وارده و تحلیل پایداری سازه‌ها، طراحی شدند. برای انجام تحلیل‌های مربوط به پایداری بندهای تأخیری از مدل CADAM استفاده شد. با توجه به ابعاد سازه بند تأخیری که بر مبنای پایداری بدست آمدند و هم چنین عرض دره محل استقرار بند تأخیری، حجم مصالح مورد نیاز برای ساخت سازه و هزینه آن محاسبه شد.

مشخصات بندهای تاخیری مورد استفاده مطابق جدول ۱ فرض شد.

جدول ۱. مشخصات هندسی و حجم مصالح مورد نیاز برای ساخت بندهای تأخیری

نام بند تأخیری	ارتفاع حداکثر (m)	عرض متوسط دره (m)	حجم مصالح (m3)
D1	۵,۵	۳۲,۰	۶۰۸,۵
D2	۶,۵	۵۰,۰	۱۲۸۸,۸
D3	۱۶	۷۲,۱	۹۲۹۶,۱

D4	۱۵,۵	۶۲,۵	۷۸۱۷,۸
D5	۱۵	۶۱,۶	۷۴۵۹,۴
D6	۱۸	۱۳۳,۲	۲۳۸۸۶,۳
D7	۱۵	۷۲,۵	۸۷۶۹,۳
D8	۲۷,۵	۶۴,۲	۲۵۷۷۶,۵

-مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز

جهت مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز ، داده‌های ورودی به بازه‌های مطالعاتی به‌صورت هیدروگراف‌های سیلاب به مدل داده شد. بدین منظور در مدل HEC-HMS از ابزار چشمه (Source) در ابتدای بالاترین سرشاخه استفاده گردید که با استفاده از آن می‌توان هیدروگراف ورودی سیل به بازه را معرفی نمود. برای روندیابی جریان در آبراهه روش نیمه هیدرولیکی ماسکینگام - کونژ به‌کار گرفته شد. برای معرفی بندهای تأخیری در مدل HEC-HMS نیز از ابزار مخزن (Reservoir) استفاده شد که در آن می‌بایست نوع خروجی (سرریز، دریچه یا روزنه)، روش ذخیره جریان در مخزن (سطح - تراز، حجم - تراز) مشخص گردند.(شکل ۳) توزیع زمانی متوسط بارش‌های حوضه از طریق تحلیل فراوانی اطلاعات بارش در طی یک دوره آماری استخراج شد. زمان تداوم نیز با توجه به تداوم سیلاب‌های ثبت شده حوضه، ۲/۵ ساعت انتخاب گردیدو براساس استانداردهای موجود برای طرح‌های کنترل سیل، از سیلاب ۵۰۰ ساله برای مدل سازی استفاده شد.

شکل ۳. مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز رودخانه کن

در جدول ۱ پارامترهای مورد نیاز برای استفاده از روش ماسکینگام - کونژ به تفکیک بازه‌های مختلف برای مقطع رودخانه به شکل ذوزنقه آورده شده است. لازم به ذکر است که پارامترهای هندسی این جدول با استفاده از لایه‌های رقومی و تصاویر ماهواره‌ای در محیط سامانه GIS استخراج شده اند. شیب جانبی تمامی بازه‌ها ۱:۱ فرض شد.

در جدول ۲ پارامترهای سرریز و روزنه ارائه شده است. لازم به ذکر است که ضریب روزنه در تمامی بندها ۰/۸ و ضریب سرریز ۲/۶ (بر اساس پیشنهادات راهنمای نرم‌افزار) در نظر گرفته شد.

جدول ۱. پارامترهای مورد نیاز روش ماسکینگام - کونژ به تفکیک بازه‌های مختلف

نام بازه	طول بازه(m)	شیب بازه	عرض کف(m)	نام بازه	طول بازه(m)	شیب بازه	عرض کف(m)
R1	۴۸۳۵,۴	۰,۰۵۱	۲۷,۵	R11	۱۵۳۱,۳	۰,۰۵۸	۲۰,۰
R2	۱۶۳۰,۳	۰,۰۶۱	۲۷,۵	R12	۱۱۸۱,۶	۰,۰۳۳	۳۰,۰
R3	۳۰۹۴,۷	۰,۰۵۹	۲۵,۳	R13	۳۵۵۴,۶	۰,۰۳۰	۳۰,۰
R4	۱۴۳۹,۴	۰,۰۱۸	۲۵,۳	R14	۹۰۳,۱	۰,۰۵۶	۲۱,۰
R5	۲۱۲۷,۸	۰,۰۷۵	۸,۵	R15	۴۶۸۷,۱	۰,۰۵۰	۲۱,۰
R6	۴۵۴۷,۶	۰,۱۴۰	۱۸,۷	R16	۹۷۶,۷	۰,۰۴۵	۳۲,۰
R7	۲۰۵۸,۸	۰,۰۸۴	۱۸,۷	R17	۴۶۵۱,۳	۰,۱۲۳	۱۴,۸
R8	۱۲۴۷,۱	۰,۰۲۸	۱۷,۶	R18	۴۵۴,۱	۰,۰۳۹	۴۶,۰
R9	۱۳۵۵,۱	۰,۰۳۷	۱۷,۶	R19	۱۰۷۰۸,۰	۰,۰۲۲	۴۶,۰
R10	۴۳۲۴,۶	۰,۰۵۶	۲۰,۰				

جدول ۲. پارامترهای ورودی برای شبیه‌سازی سرریز و روزنه در مدل HEC-HMS

	مشخصات روزنه	مشخصات سرریز

نام بند	تعداد	رقوم (m)	مساحت(m^2)	رقوم تاج (m)	طول (m)
D1	۲	۲۰۲۱	۲	۲۰۲۵	۱۰
D2	۲	۱۹۵۷	۲	۱۹۶۲	۱۰
D3	۱	۱۹۴۳	۲	۱۹۵۷	۱۰
D4	۲	۱۷۳۳	۳	۱۷۴۶/۵	۱۰
D5	۱	۱۷۷۶	۳	۱۷۸۹	۱۰
D6	۴	۱۶۴۷	۲/۵	۱۶۶۳	۱۰
D7	۲	۱۷۷۴	۳	۱۷۸۷	۱۰
D8	۵	۱۴۷۹	۳	۱۵۰۴	۱۰

۴-۲-۲- شبیه‌سازی جریان در محدوده مسکونی پایین‌دست و طراحی دیوار سیل‌بند

پس از تعیین هیدروگراف خروجی از حوضه بالادست، با استفاده از نرم افزار HEC-RAS تراز آب در رودخانه پایین دست تعیین شد.پس از تعیین ارتفاع و در نظر گرفتن ارتفاع آزاد، ارتفاع دیوار سیل بند بدست آمد. شکل ۴ مقاطع عرضی رودخانه کن را برای تحلیل هیدرولیکی نشان می دهد.

شکل ۴. مقاطع عرضی رودخانه کن در مدل HEC-RAS

بارگذاری دیوار سیل‌بند در حالتی که تراز آب در پشت دیوار در بالاترین سطح خود قرار داشته باشد، انجام شد و با تغییر ابعاد هندسی دیوار، پایداری سازه در برابر واژگونی، لغزش و باربری خاک زیرین تأمین شد. بدین منظور از نرم‌افزار RetainWall V.2.0 استفاده شد. پس از نهایی شدن ابعاد هندسی دیوار سیل‌بند و همچنین طول محدوده سیل‌گیر شهری، حجم مصالح مورد نیاز و هزینه دیوار ساحلی تخمین زده شد. در طرح اولیه، ابعاد سازه دیوار سیل‌بند مطابق شکل استاندارد (۵) در نظر گرفته شد (و در صورت عدم پایداری، ابعاد تغییر داده می‌شدند). این عمل برای کم ترین دبی خروجی از حوضه آبریز (در نظر گرفتن تمامی سدهای تأخیری) تا بیشترین دبی خروجی از حوضه آبریز (عدم وجود هیچ گونه سد تاخیری) تکرار شده و در نهایت، رابطه دبی پیک - هزینه دیوار ساحلی بدست آمد.

شکل ۵. ابعاد استاندارد دیوار سیل‌بند در طرح اولیه دیوار

علاوه بر هزینه بندهای تاخیری و دیوار سیل‌بند، هزینه دیگری که باید در نظر گرفت، هزینه‌های جاری طرح است. این هزینه ها که شامل نگهداری ، بازسازی و بخصوص لایروبی مخزن این بندها در زمانهای مناسب می شوند، تابع شرایط مختلف حاکم بر ساخت سازه است و تعیین دقیق آنها بسیار مشکل است. از این رو معمولا" هزینه‌های جاری را به عنوان درصدی از مجموع هزینه‌های سازه ای درنظر می گیرند که در تحقیق حاضر برابر با ۳۰ درصد درنظر گرفته شد.

روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS

با توجه به آنکه دو معیار هزینه و ایمنی برای انتخاب گزینه برتر ملاک عمل می باشد و تعداد سناریو های زیادی برای این طرح وجود دارد، برای تعیین بهترین گزینه از روش تصمیم گیری TOPSIS استفاده شد. در این روش m گزینه به‌وسیله n شاخص ارزیابی می‌شوند. منطق اصولی این مدل راه‌حل ایده‌آل (مثبت) و راه‌حل ایده‌آل منفی را تعریف می‌کند. راه‌حل ایده‌آل (مثبت) راه‌حلی است که معیار سود را افزایش و معیار هزینه را کاهش می‌دهد. گزینه بهینه، گزینه‌ای است که کم ترین فاصله از راه حل ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیش ترین فاصله از راه حل منفی را داشته باشد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- هیدروگراف دبی خروجی از حوضه در چینش‌های مختلف بندهای تأخیری

همانطور که قبلا" ذکر شد، تعداد بندهای تأخیری برای کنترل سیلاب رودخانه کن ۸ عدد در نظر گرفته شد. با استفاده از این ۸ بند و با در نظر گرفتن وجود و یا عدم وجود آنها، می‌توان^{۸}۲ (۲۵۶) چینش متفاوت از بندهای تأخیری در سطح حوضه آبریز ایجاد کرد. این چینش‌ها شامل ۱ ترکیب بدون سد(سناریو ۱)، ۸ ترکیب با یک سد(سناریوی ۲ تا ۹)، ۲۸ ترکیب با دو سد(سناریوی ۱۰تا ۳۷)، ۵۶ ترکیب با سه سد(سناریوی ۳۸ تا ۹۳)، ۷۰ ترکیب با چهار سد(سناریوی ۹۴ تا ۱۶۳)، ۵۶ ترکیب با پنج سد(سناریوی ۱۶۴ تا ۲۱۹)، ۲۸ ترکیب با شش سد(سناریوی ۲۲۰تا ۲۴۷) ، ۸ ترکیب با هفت سد(سناریوی ۲۴۸تا ۲۵۵) و ۱ ترکیب با هشت سد(سناریوی ۲۵۶) می باشد. هر یک از این ۲۵۶ حالت قرارگیری بندهای تأخیری دارای یک هزینه احداث و در خروجی حوضه دارای یک دبی پیک مربوط به خود هستند که با بقیه چینش‌ها متفاوت می باشند. پس از مشخص شدن تمامی ترکیب‌ها، با استفاده از مدل HEC-HMS حوضه آبریز رودخانه کن برای هر ترکیب روندیابی شد و هیدروگراف دبی خروجی از حوضه آبریز تعیین شد. شکل(۶) هیدروگراف خروجی حوضه در حالت بدون سد تاخیری را نشان می دهد. شکل (۷) مقادیر دبی پیک خروجی از حوضه آبریز در چینش‌های مختلف بندهای تأخیری را نشان می دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش تعداد بندهای تأخیری، دبی پیک هیدروگراف خروجی حوضه آبریز کمتر می شود. همچنین ترکیب شماره ۱ به‌واسطه نداشتن هیچ‌گونه سدی، بالاترین دبی پیک هیدروگراف خروجی و ترکیب شماره ۲۵۶ به‌واسطه وجود تمامی سدها، کم ترین دبی پیک هیدروگراف خروجی را دارا می‌باشد.

شکل ۶- هیدروگراف دبی خروجی از حوضه آبریز در ترکیب شماره ۱ (بدون بند تاخیری)

شکل ۷ دبی پیک هیدروگراف خروجی از حوضه آبریز در چینش‌های مختلف بندهای تأخیری

ادامه شکل ۷. دبی پیک هیدروگراف خروجی از حوضه آبریز در چینش‌های مختلف بندهای تأخیری

۳-۲- ارتفاع و حجم مصالح دیوار سیل بند دردبی های مختلف

پس از تهیه مدل هیدرولیکی، جریان سیلاب برای کم ترین دبی خروجی از حوضه آبریز (در نظر گرفتن تمامی بندهای تأخیری) تا بیش ترین دبی خروجی از حوضه آبریز (عدم منظور هیچ‌گونه بند تأخیری) شبیه‌سازی شده و پروفیل‌های سطح آب و خصوصیات هیدرولیکی جریان برای محدوده دبی ذکر شده تعیین گردید. لازم به ذکر است که دبی با گام‌های ۱۰ مترمکعب بر ثانیه از کم ترین دبی تا بیش ترین دبی به مدل معرفی شد. پس از انجام شبیه‌سازی، مقادیر حداکثر عمق جریان در مقاطع عرضی، برای دبی‌های مختلف استخراج شده و با در نظر گرفتن مقادیر ارتفاع آزاد، ارتفاع نهایی و حجم مصالح دیوار سیل‌بند به‌ازای هر دبی به ترتیب مطابق شکلهای (۸ الف) و (۸ ب) تعیین گردید .

شکل ۸ تغییرات مشخصات دیوار سیل بند در مقابل دبی جریان در محدوده مسکونی پایین‌دست حوضه –الف: ارتفاع دیوار، ب: حجم مصالح دیوار

هزینه اجرای عملیات کنترل سیلاب شامل سه بخش بندهای تأخیری، دیوار سیل‌بند و هزینه‌های جاری می‌باشد. شکل ۹ هزینه سیستم کنترل سیلاب را نشان می دهد. برای ترکیب شماره ۱ (بدون سد) هزینه احداث سد صفر و هزینه دیوار سیل‌بند بالاترین مقدار خود را دارد. همچنین برای ترکیب شماره ۲۵۶ (با تمام سدها) هزینه بندهای تأخیری بیش ترین مقدار و هزینه دیوار سیل‌بند کم ترین مقدار را دارا می‌باشد.

شکل ۹. هزینه احداث بندهای تأخیری، دیوار سیل‌بند و هزینه کل در ترکیب‌های مختلف بندهای تأخیری

۳-۴- تعیین گزینه برتر برای سیستم کنترل سیل

طرح مناسب برای سیستم کنترل سیل از دو جنبه اقتصادی و ایمنی است. از نظر اقتصادی طرحی بهینه است که هزینه حداقل را دارا می باشد. نمودار هزینه کل درشکل (۹) بیان‌گر آن است ترکیب شماره ۱ اقتصادی ترین طرح است.ولی در این ترکیب، دبی خروجی از حوضه آبریز به علت عدم وجود بندهای تأخیری بیشترین مقدار را دارد که می‌تواند باعث ایجاد خطرات زیادی در محدوده مسکونی پایین‌دست گردد. علت آن اینست که اگر چه وجود دیوارهای سیل بند مانع ورود آب به مناطق مسکونی می شود ولی هر عاملی مانند، خطا در داده ها، خطا در محاسبات، ایجاد انسداد در مسیر، عدم اجرای صحیح دیوارها و غیره می تواند باعث سر ریز شدن سیل از دیوارها شود و باعث خطرات مالی و جانی شود. لذا کاهش پیک سیلاب بوسیله سدهای تاخیری باعث ایمنی بیشتر می شود و علاوه براین باعث تغذیه سفره های آب زیر زمینی می شود که در محاسبات لحاظ نشده است.

بنابراین طرحی بهینه است که علاوه بر در نظر گرفتن کمترین هزینه، نظر ایمنی هم بهینه باشد. عامل اصلی در ایجاد خطر سیلاب دبی پیک می باشد. بنابراین با کاهش آن می توان ایمنی را افزایش داد. در این راستا علاوه بر هزینه طرح باید کاهش دبی هم در انتخاب گزینه برتر مد نظر قرار بگیرد.

تعیین طرح نهایی کنترل سیل توسط روش تصمیم گیری چند معیاره TOPSIS

در این روش، دو پارامتر هزینه طرح کنترل سیل و دبی پیک هیدروگراف خروجی از حوضه آبریز به‌عنوان معیارهای سنجش برای چینشهای مختلف در نظر گرفته شدند. با توجه به اهمیت هر معیار می توان وزنهای مختلفی برای هرکدام قائل شد . در این تحقیق اهمیت هردو معیار برابر در نظر گرفته شد و ضرایب معیارهای ذکر شده برابر با ۰/۵ منظور شد. در نهایت با اعمال این روش بر روی داده‌های دبی و هزینه، مقادیر C_i^* تعیین شد که نتایج آن برای ترکیب‌های مختلف در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

شکل ۱۰. تغییرات فاکتور C_i^* روش TOPSIS برای ترکیب‌های مختلف بندهای تأخیری

با بررسی ترکیبهای مختلف گزینه های برتر که دارای شاخص C_i^* بیشتر می باشند تعیین می شوند. جدول ۴ نیز اولویت بندی گزینه های برتر کنترل سیلاب حوضه آبریز رودخانه کن به همراه مشخصات فنی و اقتصادی را نشان می دهد.

جدول ۴. اولویت‌بندی گزینه‌های برتر کنترل سیلاب حوضه آبریز رودخانه کن به‌همراه مشخصات فنی و اقتصادی

شماره ترکیب	اولویت	بندهای موجود	ارتفاع بندهای تاخیری (m)	ارتفاع دیوار سیل‌بند (m)	هزینه (قیمت واحد حجم مصالح/۱)			دبی خروجی از حوضه آبریز (m^3/s)	درصد کاهش پیک سیلاب نسبت به ترکیب ۱	درصد افزایش هزینه نسبت به ترکیب ۱
					بندهای تاخیری	دیوار سیل‌بند	کل			
۱	-	بدون سد	-	۵	۰	۸۰۶۱۹	۱۰۴۸۰۵	۳۷۸٫۶	۰	۰
۴۳	۱	۱ - ۲ – ۸	۵٫۵ - ۶٫۵ - ۲۷٫۵	۴٫۴	۲۷۶۷۴	۷۲۵۴۹	۱۳۰۲۸۹	۲۵۹٫۲	٪۳۱٫۵	٪۲۴٫۳
۱۶	۲	۱ – ۸	۵٫۵ - ۲۷٫۵	۴٫۵	۲۶۳۸۵	۷۲۷۰۷	۱۲۸۸۲۰	۲۶۲٫۶	٪۳۱	٪۲۲٫۹
۲۲	۳	۲ – ۸	۶٫۵ - ۲۷٫۵	۴٫۵	۲۷۰۶۵	۷۲۷۰۷	۱۲۹۷۰۴	۲۶۲٫۶	٪۳۱	٪۲۳٫۸
۹	۴	۸	۲۷٫۵	۴٫۵	۲۵۷۷۶	۷۲۷۰۷	۱۲۸۰۳۰	۲۶۶٫۱	٪۳۰	٪۲۲٫۲
۳۱	۵	۴ – ۸	۱۵٫۵- ۲۷٫۵	۴٫۴	۳۳۵۹۴	۷۱۴۶۱	۱۳۶۵۷۲	۲۵۳٫۷	٪۳۳	٪۳۰٫۳
۲۵۶	-	تمام سدها	-	۴٫۲	۸۷۵۳۵	۶۲۰۴۳	۱۹۴۴۵۱	۲۳۳٫۲	٪۳۸	٪۸۵٫۵

همان‌طور که از شکل ۱۰ و جدول ۳ مشاهده می‌شود ترکیب شماره ۴۳ دارای بیشترین مقدار C_i^* است. این ترکیب موجب کاهش۳۱٫۵ درصدی دبی پیک هیدروگراف خروجی نسبت به ارزانترین طرح (ترکیب ۱) می شود و هزینه آن نسبت به آن ٪۲۴٫۳

بیشتر است. . ترکیبهای ۱۶، ۲۲ و ۹ و ۳۱ نیز با فاصله کمی از ترکیب ۴۳ قرار دارند و می توانند انتخاب شوند. شکل ۱۱ هیدروگراف خروجی پنج اولویت اول را نسبت به ترکیب ۱ نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می شود پخشیدگی و کشیدگی هیدروگراف خروجی در ۵ ترکیب ذکر شده، قابل ملاحظه بوده و این ترکیبها به‌خوبی توانسته اند شدت سیلاب را کاهش دهند.

شکل ۱۱. مقایسه هیدروگراف خروجی از حوضه بین ترکیب های برتر و ترکیب ۱ (بدون سد تاخیری)

شکل۱۲ جانمایی نهایی بندهای تأخیری در سطح حوضه را برای ترکیب شماره ۴۳ نشان می دهد.

شکل ۱۲. جانمایی بندهای تأخیری گزینه برتر (ترکیب۴۳) در حوضه آبریز کن

نتیجه‌گیری

در این تحقیق جهت کنترل سیلاب حوضه کن شهر تهران از تلفیق بندهای تاخیری و دیوار ساحلی استفاده شد. نتایج نشان داد که:

- ترکیب شماره ۱(بدون سد تاخیری و صرفا" بر اساس دیوار سیل بند) اقتصادی ترین گزینه است ولی دبی خروجی از حوضه بیش ترین مقدار را دارد که می‌تواند باعث ایجاد خطرات قابل توجه در محدوده مسکونی پایین‌دست گردد.
- طبق تحلیل تصمیم گیری چند معیاره TOPSIS ترکیب شماره ۴۳ دارای بیش ترین مقدار C_i^* است و به‌عنوان ترکیب برتر کنترل سیلاب حوضه آبریز رودخانه کن می تواند انتخاب شود. پس ازگزینه ترکیبات ۱۶، ۲۲، ۹ و ۳۱ در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند.
- از نظر مسائل هیدرولیکی گزینه برتر (ترکیب)۴۳ ، موجب کاهش ۳۱ درصدی دبی پیک هیدروگراف خروجی گردید.
- عملکرد توأم و هم زمان دو یا چند سد تاخیری می‌تواند منجر به یک اثر قابل ملاحظه از نظر هیدرولیکی و اقتصادی در کل حوضه آبریز گردد.

منابع

1. Al-Weshah.R., El-Khoury, F., “Flood analysis and mitigation for Petra area in Jordan”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 125, No. 3, pp 170- 177, (1999).

2- Simonovic, S.P. ,Carson, R. W., “Flooding in the Red River Basin – Lessons from Post Flood”, *Activities Natural Hazards* , Vol. 28, No. 2-3, pp 345-365 (2003).

۳ -نامقی ، ه.، رجایی، ن. ، ‘‘کنترل سیلاب رودخانۀ گرگانرود بوسیلۀ سدهای تأخیری’’، *هفتمین سمینار مهندسی رودخانه* ، اهواز(۱۳۸۵).

۴- شکوهی، ع. دانشور ، ش. "بررسی تاثیر احداث مخازن تاخیری در حوضه های آبریز در مقایسه با عملیات موضعی مهندسی رودخانه برای کنترل سیل در محدوده شهر" ، (*گزارش فنی*) *مجله تحقیقات منابع آب ایران*، سال سوم ، شماره ۱، صفحات ۸۰-۸۳،(۱۳۸٦).

۵- هلیلی، م. ، سعدالدین،ا.، مساعدی، ا.،ماهیتی، ع. "تصمیم گیری چند معیاره فازی به منظورمدیریت منابع آب سطحی به کمک سدهای مخزنی در آبخیز سد بوستان - استان گلستان"، *پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران* ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان(۱۳۸۸).

6- Lee G. Jun., K.S, Chung E.-S. "Integrated multi-criteria flood vulnerability approach using fuzzy TOPSIS and Delphi technique” , *National Hazards Earth System* Science, 13, pp. 1293–1312, (2013).

7- Jun, K. S., Chung, E. S., Kim, Y. G., & Kim, Y. “ A fuzzy multi-criteria approach to flood risk vulnerability in South Korea by considering climate change impacts”. *Expert Systems with Applications*, *40*(4), 1003-1013. (2013) doi:10.1016/j.eswa.2012.08.013

8- Radmehr A, Araghinejad S “Developing strategies for urban flood management of Tehran city using SMCDM and ANN”. *Journal of Compute Civil Engineering*, Vol. 28, No. 6, (2014) doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000360

9- RadmehrA., Araghinejad, S. “Flood Vulnerability Analysis by Fuzzy Spatial Multi Criteria Decision Making” , *Water Resources Management*, Vol.29, No. 12, pp. 4427-4445(2015)

۱۰- قهرودی، م.، مجیدی، آ. عبدلی، ا.” آسیب پذیری ناشی از سیلاب شهری (مطالعه موردی :تهران، درکه تاکن)، *جغرافیا و مخاطرات محیطی”*، شماره هفدهم، بهار ۱۳۹۵، ص ۲۱- ۳۵(۱۳۹۵)

۱۱- هوشیاری پور، ف.، یزدی، ج.، افتخاری، م.، جوادی، ف.، شش انگشت، س مدیریت سیلاب حوضه رودخانه کن را با رویکرد شبیه سازی و بهینه سازی ، *پژوهش های تجربی در مهندسی عمران*، جلد ۳، شماره ۱، ص: ۷۳-۸۹(۱۳۹۵)،

Flood control using a combination of delayed dam and coastal dike
(Case study: Kan river basin)

Azam Safaee[1], Saeed Reza Khodashenas[2*], Kamran Davari[3]

1- MSc. Student, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad,
2,3 Professor, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad,
*Corresponding Author: khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir

In the present study, a combination of delayed dams in the upstream basin with the coastal dike in the downstream of residential area of the Kan river was studied, so that for this combination, the cost of constructing the structures is minimized and the reduction of flood peak is maximized. For this purpose, multi-criteria decision method and TOPSIS method were used and the best option was determined. This research showed that for the best combination, if 3 delayed dams with coastal river dike are constructed, the peak of output flood reduce to 31.5%. In addition, the diffusion and elongation of the output hydrograph in the superior state were significant and the time of concentration of flood increase.

Keywords: Delayed dam - Kan river basin- Flood control - Multiple Criteria Decision Making TOPSIS